

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

HÉFER JOÁS OLIVEIRA CARVALHO

DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA HOMOGENEIZAÇÃO DE  
COLORAÇÃO DE MADEIRA DE CERNE E ALBURNO DE *Eucalyptus grandis*

CURITIBA

2011

HÉFER JOÁS OLIVEIRA CARVALHO

DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA HOMOGENEIZAÇÃO DE  
COLORAÇÃO DE MADEIRA DE CERNE E ALBURNO DE *Eucalyptus grandis*

Trabalho apresentado para obtenção parcial  
do título de especialista em Gestão da  
Indústria Madeireira no curso de Pós-  
Graduação em Gestão da Indústria  
Madeireira do dep. De Economia Rural e  
Extensão, Setor de Ciências Agrárias,  
Universidade Federal do Paraná

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Jorge Klitzke

CURITIBA

2011

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

HEFER JOÁS OLIVEIRA CARVALHO

DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA HOMOGENEIZAÇÃO  
DE COLORAÇÃO DE MADEIRA DE CERNE E ALBURNO  
DE *Eucalyptus grandis* - UM ESTUDO DE CASO

Monografia aprovada como requisito parcial para obtenção do título de especialista em Gestão da Indústria Madeireira no curso de Pós-Graduação em Gestão da Indústria Madeireira do Departamento de Economia Rural e Extensão, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

---

Prof. Dr. Ricardo Jorge Klitzke

Orientador – Departamento Engenharia e tecnologia Florestal

---

Prof. Romano Timofeiczky Jr.

Departamento de Economia Rural e Extensão

---

Prof.

Departamento de

Curitiba, de 2012.

Dedico este trabalho aos parceiros empresários que cederam suas estruturas e sua matéria-prima para a realização de todas as etapas do processo de coloração, em especial as empresas LAJUFER LTDA, MARRARI AUTOMAÇÃO, PLANETA INDUSTRIAL E PROBAT LEOGAP.

## **AGRADECIMENTO**

À minha amada família que suportou os momentos de falta em dedicação a este trabalho.

Ao orientador Prof. Dr. Ricardo Jorge Klitzke que se dedicou prontamente em tornar este trabalho possível.

Ao grande amigo André Vinícius Bueno que fez todas as críticas pertinentes para que o trabalho tivesse seu foco principal atendido.

*“Não sabendo que era impossível, foi lá e fez”*

*Jean Cocteau*

## RESUMO

Este estudo visou o melhor aproveitamento da matéria-prima pela indústria de produtos sólidos de madeira, por meio do desenvolvimento técnico e metodológico do processo de homogeneização da coloração da madeira de cerne e alburno de *Eucalyptus grandis* em escala industrial. A metodologia foi desenvolvida em câmara convencional de secagem de madeira, sendo adaptada para o tratamento de homogeneização da coloração. Foram aplicadas alta temperatura e umidade relativa para cada tratamento com a condução de dois testes. Avaliou-se visualmente a coloração da madeira antes e após o tratamento de homogeneização. Os resultados obtidos demonstraram que o equipamento de secagem convencional adaptado para a homogeneização atendeu as necessidades exigidas pelo tratamento, mantendo as variáveis ambientais controladas durante o processo. Quanto ao efeito do tratamento na coloração da madeira os resultados obtidos demonstraram que o método foi eficiente, homogeneizando a coloração da madeira de cerne e alburno de *Eucalyptus grandis*, podendo ser aplicado em escala industrial. O tratamento irá proporcionar maior valorização da madeira. Não foi observado aumento na perda de qualidade em termos de empenamentos e rachaduras na madeira que sofreu homogeneização

**Palavras-chave:** Homogeneização da cor, Coloração de Madeira, *Eucalyptus grandis*.

## **ABSTRACT**

This study aimed at better utilization of raw materials for industry, solid wood products, by developing technical and methodological process of homogenization of the color of the wood heartwood and sapwood of *Eucalyptus grandis* on an industrial scale. The methodology was developed in conventional kiln drying of wood, being adapted for treating homogenization in color. We applied high temperature and relative humidity for each treatment with two driving tests. Was assessed visually the color of the timber before and after the homogenization treatment. The results showed that conventional drying equipment adapted for mixing met the needs required by the treatment, maintaining the controlled environmental variables in the process. The effect of treatment on coloring the wood the results demonstrated that the method was efficient and swirl the color of the wood heartwood and sapwood of *Eucalyptus grandis* and can be applied on an industrial scale. The treatment will provide greater appreciation of the wood. There was no increased loss of quality in terms of warping and cracking of the wood that has undergone homogenization.

**Keywords:** Homogenization of color, staining wood, *Eucalyptus grandis*



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 CORTE TRANSVERSAL DO EUCALIPTO .....	23
FIGURA 02 CORTE TRANSVERSAL DE UM TRONCO .....	23
FIGURA 03 ESQUEMA ANATÔMICO DAS FOLHAS .....	24
FIGURA 04 RETIRADA DAS AMOSTRAS.....	25
FIGURA 05 CAMARA DE HOMOGENEIZAÇÃO DE MADEIRAS E DE SECAGEM.....	29
FIGURA 6 PSICROMETRO UTILIZADO PARA MEDIÇÃO DO CLIMA .....	30
FIGURA 07 CALDEIRA BENECKE CAPACIDADE DE 3500KG VAPOR/H...	34
FIGURA 08 PARTE INTERNA DA CAMARA DE HOMOGENEIZAÇÃO DA COLORAÇÃO.....	34
FIGURA 09 TINA DE ÁGUA E OS DUMPERS (ABERTURAS SUPERIORES).....	35
FIGURA 10 CURVAS UTILIZADAS NOS TESTES DE HOMOGENEIZAÇÃO .....	36
FIGURA 11 MADEIRA COLOCADA NA CAMARA DE HOMOHENEIZAÇÃO DE COLORAÇÃO.....	38
FIGURA 12 VARIÁVEIS AMBIENTAIS SUGERIDAS PELO TESTE.....	39
FIGURA 13 DADOS DO PROCESSO COLORAÇÃO DA CURVA 1 .....	40
FIGURA 14: MADEIRA UTILIZADA NO TESTE DE HOMOGENEIZAÇÃO...	40
FIGURA 15 AMOSTRAS ANTES E APÓS OS TESTE DE COLORAÇÃO.....	41
FIGURA 16: DADOS DO PROCESSO COLORAÇÃO DA CURVA 02 .....	42

FIGURA 17 MADEIRA UTILIZADA NO TESTE DE HOMOGENEIZAÇÃO CURVA 2.....	42
FIGURA 18 AMOSTRAS ANTES E APÓS O TESTE DE COLORAÇÃO CURVA 2.....	43
FIGURA 19 AMOSTRAS ANTES E APÓS O TESTE DE COLORAÇÃO CURVA 2.....	43
FIGURA 20 MADEIRA ANTES DA COLORAÇÃO APÓS A COLORAÇÃO E APLAINADA.....	44

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1: VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA BÁSICA E APARENTE a 12 % DE UMIDADE (SILVA 2002) .....	23
TABELA 2: RELAÇÃO IDADE VERSUS POSIÇÃO RADIAL (SILVA, 2002) .....	23

## **LISTA DE SIGLAS**

PSF	Ponto de Saturação das Fibras
FJGB	Finger Joint Glue Board
UR	Umidade Relativa
TBS	Termômetro de Bulbo Seco
TBU	Termômetro de Bulbo Úmido
CLP	Controlador Lógico Programável

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>16</b>
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>17</b>
3.1 Madeira de Eucalyptus .....	17
3.2 Anatomia da Madeira .....	23
3.3 Propriedades Físicas da Madeira .....	24
3.4 Química da Madeira .....	28
3.5 Processo de Homogeneização da Coloração em Câmara .....	29
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>33</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>38</b>
<b>6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>45</b>
<b>7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>45</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Em função da escassez de madeira proveniente de florestas nativas, associada à diversificação do uso de madeira serrada, a pressão sobre as florestas plantadas vem se tornando cada vez maior. Em função disto, pesquisadores, industriais e pessoas ligadas à área, vêm buscando fontes alternativas de suprimento de madeira para o setor de serrados. Dentre estas fontes, em virtude das grandes áreas plantadas com espécies de eucalipto em algumas regiões do país, tem-se a certeza de que este gênero é um potencial substituto da demanda de madeira de folhosas para produção de madeira serrada para geração de produtos de maior valor agregado.

A tendência mundial é a produção de madeira a partir de florestas plantadas ou regeneradas. Assim sendo os diâmetros das toras produzidas tem diminuído continuamente, impulsionando o desenvolvimento de novos processos e novos equipamentos para processar madeira. Atualmente as empresas madeireiras de alguns países preferem processar toras de pequeno diâmetro, em virtude de serem estas mais adequadas à automação e à mecanização. Além disso, foram desenvolvidos novos produtos para o aproveitamento de madeiras de menores dimensões produzidas pelas menores toras. O Brasil poderia aproveitar essa tendência para desenvolver uma nova indústria madeireira com base em florestas de rápido crescimento e curtas rotações, pois é dono da melhor eucaliptocultura do mundo (PONCE, 1995).

Na busca por estabelecer alternativas de espécies de madeira como matéria-prima para a indústria moveleira local e mundial, observou-se que não somente suas propriedades físicas e mecânicas são consideradas decisivas, mas também, as propriedades anatômicas e químicas entre outras. Por exemplo; a coloração é um fator de extrema importância na aceitação da madeira pelo mercado consumidor. As diferenças de coloração entre os lenhos do cerne e do alburno que normalmente ocorrem é um fator limitante na viabilidade do emprego de tais espécies.

Atualmente as toras são retiradas de florestas nativas ou plantadas cada vez mais jovens para serem processadas pelas serrarias com diâmetros cada vez menores e com grande porcentagem de alburno na tora. Estas diferenças na coloração ficam mantidas na tábuas após a secagem, causando

redução no aproveitamento da madeira, sendo necessário para o mercado de produtos de maior valor agregado empregar tratamentos visando à homogeneização da coloração de tais diferenças.

A coloração de madeira pode ser realizada por meio de aplicação de corantes, tintas ou vernizes o que muda o aspecto natural da madeira, restringindo seu mercado e seu valor. Dentro deste contexto o presente trabalho procurou oferecer um método de homogeneização entre o cerne e o alburno de madeira de *Eucalyptus grandis*.

## 2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste estudo foi aumentar o aproveitamento da madeira pela indústria de produtos sólidos, através da homogeneização da coloração da madeira de cerne e alburno de *Eucalyptus grandis*.

Para atender o objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Desenvolver metodologia de homogeneização da coloração da madeira, adaptando câmara convencional de secagem de madeira com aplicação de vapor saturado;
- Desenvolvimento técnico do processo testando condições ambientais favoráveis ao tratamento de homogeneização da coloração da madeira de *Eucalyptus grandis*;
- Analisar visualmente o efeito do processo de homogeneização de coloração na madeira e sua influência na qualidade, em termos de empenamentos e rachaduras.



### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Madeira de *Eucalyptus*

De acordo com WAUGH (1998), as florestas australianas são dominadas por eucaliptos. Lá existem cerca de 720 espécies reconhecidas, das quais aproximadamente são utilizadas em produtos de madeira. Esta abundância de eucalipto crescendo em florestas naturais tem sido a maior influência no desenvolvimento das indústrias florestais australianas.

Segundo OLIVEIRA (1999), quanto às características gerais do gênero *Eucalyptus*, destaca-se o alburno delgado, com menos de 3 cm e de coloração clara. O cerne, segundo ALFONSO (1997) *apud* OLIVEIRA (1999), apresenta cor variando desde amarelado até vários tons pardo-avermelhados e vermelhos. A madeira apresenta pouco brilho, grã direita a revessa, textura fina a média; macia a moderadamente dura ao corte, com cheiro e gosto distintos. Quanto à massa específica aparente, esta varia desde mais leves, passando a média, até aquelas bastante pesadas, variações de aproximadamente 0,40 a 1,20 g/cm<sup>3</sup>. Ainda segundo o mesmo autor, um aspecto positivo, em relação à madeira de eucalipto, é o grande espectro de propriedades, em função das diferentes espécies que são facilmente cultivadas no país. Tem-se desde madeiras leves e de baixa durabilidade, até aquelas madeiras aptas às utilizações estruturais e de relativa durabilidade, mesmo sem serem preservadas.

##### 3.1.1 *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden

A principal área de ocorrência natural do *E. grandis* situa-se ao norte de Nova Gales do Sul e ao sul de *Queensland*, entre as latitudes 25 e 33° Sul, ocorrendo ainda, no centro (latitude 21 ° Sul) e no norte (16 a 19° Sul) de *Queensland*. Na principal área de ocorrência, a temperatura média das máximas do mês mais quente está em torno de 24 a 30° C e a média das mínimas do mês mais frio de 3 a 8° C. Para as áreas ao norte, os valores variam de 29 a 32° C e 10 a 17° C. As áreas costeiras são livres de geadas, enquanto que nos locais de maior altitude, longe da costa, podem ocorrer geadas ocasionais. A precipitação média anual está em torno de 1.000 a 3.500

mm, com maior concentração no verão, principalmente no centro e no norte de *Queensland*. A estação seca não ultrapassa 3 meses.

De acordo com FERREIRA (1979), a madeira de *E. grandis* é leve e fácil de ser trabalhada. Utilizada intensivamente, na Austrália e na África do Sul, como madeira de construção, quando oriunda de plantações de ciclo longo. A madeira produzida em ciclos curtos é utilizada para caixotaria. Normalmente a madeira oriunda de árvores com rápido crescimento, apresenta problemas de empenamento, contrações e rachaduras quando do desdobro. Plantações convenientemente manejadas, podem produzir madeira excelente para serraria e laminação. É a principal fonte de matéria prima para celulose e papel do estado de São Paulo.

Em trabalho realizado por SILVA *et al.* (1997), onde os autores testaram o comportamento do *Eucalyptus grandis* mediante as principais operações de usinagem normalmente executadas no setor moveleiro, os mesmos concluíram que a referida madeira comportou-se muito bem, indicando um alto potencial para o setor de madeira serrada, principalmente o setor moveleiro.

Segundo ACOSTA (1999), o *E. grandis* é a espécie mais cultivada na Argentina e que apresenta um dos futuros mais promissores devido à sua alta taxa de crescimento e sua facilidade de industrialização.

### **3.2 Utilização da Madeira de Eucaliptos**

O Brasil dispõe de uma grande área com plantios de *Eucalyptus spp.* das mais variadas espécies. Tais reservas são hoje utilizadas em seu maior volume para a fabricação de carvão vegetal, na indústria siderúrgica, para a produção de polpa e papel e na indústria de chapas aglomeradas e de partículas.

Apesar da grande demanda de madeira serrada para construção civil, móveis ou outros produtos de maior valor agregado, até agora os eucaliptos, que são as maiores reservas acessíveis e exploráveis, têm sido muito pouco utilizados com estes fins, sendo sua aplicação quase sempre limitada à produção de carvão, celulose e chapas de fibras (ROZAS MELLADO, 1993).

Segundo MENDOZA (1995), a produção de madeira de eucalipto no Chile, no ano de 1993 foi de um volume de 722.871 m<sup>3</sup> para cavacos, 48.890 m<sup>3</sup> para madeira serrada e 11.329 m<sup>3</sup> para produção de chapas. De acordo

com estes dados, pode-se observar que o grande uso do Eucalipto no Chile é para produção de cavacos (92,3%), ficando o setor de madeira serrada com apenas 6,24% do total.

OLIVEIRA (1997), concluiu em seu trabalho que madeiras de eucalipto, provenientes de árvores de idades mais avançadas, poderão ser verdadeiras substitutas das madeiras nativas tradicionais na construção civil, uma vez que estas tenham atingido o seu ponto de maturação, na produção de madeira com propriedades estáveis na maior parte de seus troncos.

DELLA NOCE *et al.* (1998), estudando a disponibilidade de madeira no Paraná e Santa Catarina, observaram que para o setor de esquadrias de madeira, é importante o estudo de disponibilidade de matéria prima, uma vez que se nota uma grande disposição da indústria em adotar o gênero *Eucalyptus* em seus produtos, significando uma substituição gradual da madeira nativa, atualmente importada do norte do país em espaço de tempo relativamente curto. Porém, os autores alertam que a falta de plantios manejados com intenção de produzir madeira serrada de qualidade para fabricação de componentes, pode inviabilizar tanto técnica como economicamente a substituição da madeira nativa pela de reflorestamento.

Segundo INO & SHIMBO (1998), o uso atual de madeira reflorestada do gênero *Eucalyptus* tem recebido especial atenção tanto por parte de pesquisadores como por parte do setor madeireiro, principalmente nos estados da região Sul e Sudeste, em função do seu grande potencial de disponibilidade em curto espaço de tempo. Citam os autores ainda, que a tendência de diversificação do uso deste material, que até o momento é canalizado basicamente para a indústria de celulose e para energia, está sendo analisado como uma das alternativas para minimizar o déficit habitacional.

É de consenso de todos os profissionais envolvidos com o setor madeireiro que o eucalipto tem como seus principais aliados a boa adaptação, o rápido crescimento e a diversidade de espécies, onde se pode encontrar madeiras de diferentes características físicas, mecânicas e estéticas.

O contínuo consumo de madeira e o freio que se está impondo ao corte de florestas nativas, fazem que imperiosamente se recorra às florestas plantadas como substitutas, em especial as de rápido crescimento, o que é de supor que a madeira de eucalipto será muito neste processo e talvez chegue a

converter-se tal como foi previsto no IPT de São Paulo, na “Madeira do Futuro”(ACOSTA, 1995).

A eucaliptocultura no Brasil atingiu um alto nível tecnológico graças às indústrias de produção de pasta celulósica, apresentando possibilidades imediatas para produzir florestas com características específicas para determinadas finalidades, inclusive para as serrarias, em pouco tempo (INO & SHIMBO, 1998).

Segundo ACOSTA (1995), a madeira serrada de eucalipto, em especial de *E. grandis* e similares, não é um produto conhecido no mercado mundial, o que seria proveitoso que países que possuem plantações tais como, Brasil, Argentina, Uruguai, Chile, África do Sul, Zimbábue, Congo, Índia e Austrália, somem esforços para conseguirem que a mesma seja conhecida e considerada com seu justo valor no mercado.

Com a provável escassez das madeiras de lei provenientes da Mata Atlântica e Floresta Amazônica em função da expansão das fronteiras agrícolas, exploração predatória e não utilização de um plano de manejo sustentado, vem-se abrindo um amplo mercado para a utilização de madeiras de reflorestamento, como *Pinus* e *Eucalyptus* (SILVA *et al.*, 1997 *apud* MENDES *et al.*, 1998).

De acordo com HELLMEISTER (1992), as características excepcionais da madeira dos eucaliptos e a perfeita aclimação de suas variadas espécies às mais diversas condições climáticas e de solos que o Brasil apresenta, colocam o eucalipto entre as espécies preferidas para o reflorestamento no país. Cita ainda o autor que o cultivo industrializado dos eucaliptos é um dos fatores importantes de desenvolvimento no mundo. E, na realidade, a utilização de terras prejudicadas por uma agricultura intensiva, ainda é um dos melhores meios de recuperação do equilíbrio natural, da disponibilidade de oxigênio e de gás carbônico na atmosfera.

A alternativa mais viável em curto prazo, para substituir a madeira de folhosas nativas, é o eucalipto. Excelentes produtividades em amplas áreas reflorestadas, pleno domínio das tecnologias de produção de sua madeira e a certeza de gerar grandes volumes que atendem às indústrias madeireiras e ao mercado moveleiro, conferem aos eucaliptos uma posição ímpar na atualidade (LUZ *et al.*, 1992). Produtividade de 30 a 100 metros cúbicos por hectare/ano,

em terras exauridas pela agricultura predatória, tornam insubstituíveis algumas espécies de eucaliptos utilizadas em reflorestamentos no estado de São Paulo e no Brasil (HELLMEISTER, 1992).

No Brasil são atualmente cultivadas diversas espécies de eucalipto com um ampla faixa de densidade, constituição química e anatômica e, conseqüentemente, com grandes diferenças nas propriedades físicas e químicas da madeira. estas variações tornam possível um uso bastante amplo da madeira (VITAL & DELLA LUCIA, 1986).

Normalmente, as indústrias de celulose, papel e chapas têm influenciado o plantio de determinadas espécies de eucalipto, como *E. Urophylla*, *E. saligna* e *E. grandis*. Como consequência, também os estudos sobre eucalipto têm sido ligados ao setor de chapas, celulose e papel (GALVÃO, 1976a).

Muitos países já dominam a tecnologia de desdobro do eucalipto o qual serve como matéria prima aos mais variados setores que utilizam madeira serrada. Destacam-se entre estes países a Austrália, a Nova Zelândia e a África do Sul, entre outros.

De acordo com LUZ *et al.* (1992), a nível mundial, as experiências em grande escala e bem sucedidas, no uso de madeira serrada de reflorestamentos de eucalipto, têm seu maior desenvolvimento na África do Sul, onde foram desenvolvidos e aperfeiçoados nos últimos 60 anos, métodos de manejo de reflorestamentos de diversas espécies de eucalipto, especialmente *E. grandis* e *E. cloeziana*. Os resultados obtidos permitiram o estabelecimento de um forte setor de serrarias e indústrias moveleiras, além do uso amplo de postes de eucalipto.

Para a obtenção de madeira de alta qualidade, para aplicação na indústria de móveis, marcenaria e construção civil é necessário considerar a escolha adequada das espécies a serem utilizadas, um manejo diferenciado daquele realizado atualmente para celulose e papel, chapas e energia e uma adequação das tecnologias utilizadas para o processamento da madeira de eucalipto (KIKUTI, 1995).

As raras análises econômicas que pretendem estudar as possíveis vantagens da produção de madeira nobre em reflorestamentos têm falhado num ponto essencial: a atribuição de um valor para a madeira serrada do

eucalipto. Os valores que são encontrados na literatura podem ser considerados muito equivocados, pois conforme expostos, baseiam-se em preços praticados por um mercado tendencioso, condicionado pelos preconceitos tradicionais ao eucalipto e que herdaram parâmetros de avaliação da fase áurea das madeiras nativas (LUZ *et al.*, 1992).

Em alguns casos, a madeira de eucaliptos (*E. grandis*, *E. saligna* e híbridos de *E. urophylla*) hoje disponível, comprovou-se poder ser usada em aplicações de alta qualidade que remunerem acima de US\$ 200,00 por m<sup>3</sup>, madeira serrada produzida em São Paulo. O que permite este ganho quase inacreditável no valor de remuneração da madeira? A eliminação do frete da Amazônia até o Sudeste, além do maior rendimento no desdobro e a maior padronização da madeira produzida, ambos conseguidos com uma seleção adequada das toras e das peças obtidas, praticando uma tecnologia coerente e competente.

Segundo PONCE (1995), estudos realizados no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. demonstraram a viabilidade de utilização de madeiras de eucaliptos para os mais variados fins como para móveis, onde foram produzidos armários, estantes, escrivaninhas, gaveteiros e mesas com *E. grandis* e os mesmos tiveram um desempenho considerado muito bom. Para cadeiras e mesas que requerem maior resistência mecânica, foi utilizado *E. saligna* e apresentaram também bom desempenho. No mesmo instituto foram produzidos também estruturas para telhado de *E. saligna* com 25 anos, palete de várias espécies, casa pré fabricada de *E. grandis* e componentes de edificações como assoalhos, lambris, forros, batentes, escadas, etc., com resultados variando de acordo com as espécies e florestas.

Segundo PONCE (1995), pode-se dizer que o eucalipto tem tudo para ser a principal madeira de serraria do país. Para isso é necessária investigação intensiva, tanto sob o ponto de vista tecnológico como silvicultural. Sem emprego intensivo de pesquisa, os resultados serão lentos e medíocres. Conclui o autor que, com um trabalho sistemático e arrojado de investigação poder-se-á atingir uma importância econômica comparável à da celulose de eucalipto. Sem investigação no futuro, importaremos madeira serrada para nossas necessidades básicas.

Quanto ao seu uso na fabricação de móveis de madeira sólida, o

eucalipto pode dar novo estímulo às exportações neste setor. A indústria de móveis na Europa, baseada em madeiras de pináceas está sofrendo uma provisão insuficiente de matérias primas e de alcance dos produtos limitado. A popularidade de móveis de madeira sólida, preferencialmente baseada em madeiras de plantações certificadas, é uma nova moda que provavelmente continuará nos mercados europeus. O eucalipto tem um grande potencial, se corretamente utilizado (ASSIS, 1999).

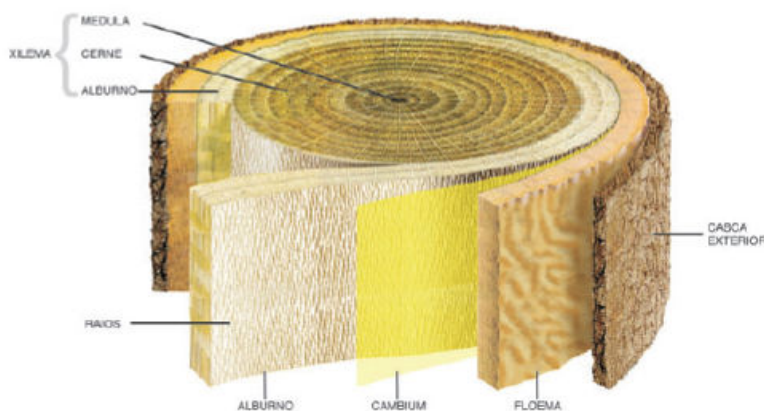
### 3.3 Anatomia da Madeira

Na Figura 1, um corte transversal exemplifica a diferença de cor que podemos encontrar desde a medula até a casca, variando de tons de marrom, passando pelo vermelho até o verde acinzentado do alburno para madeira de *Eucalyptus* spp, (BUCHANAN, 2000).

FIGURA 1 CORTE TRANSVERSAL DE EUCALIPTOS SPP (BUCHANAN, 2000).

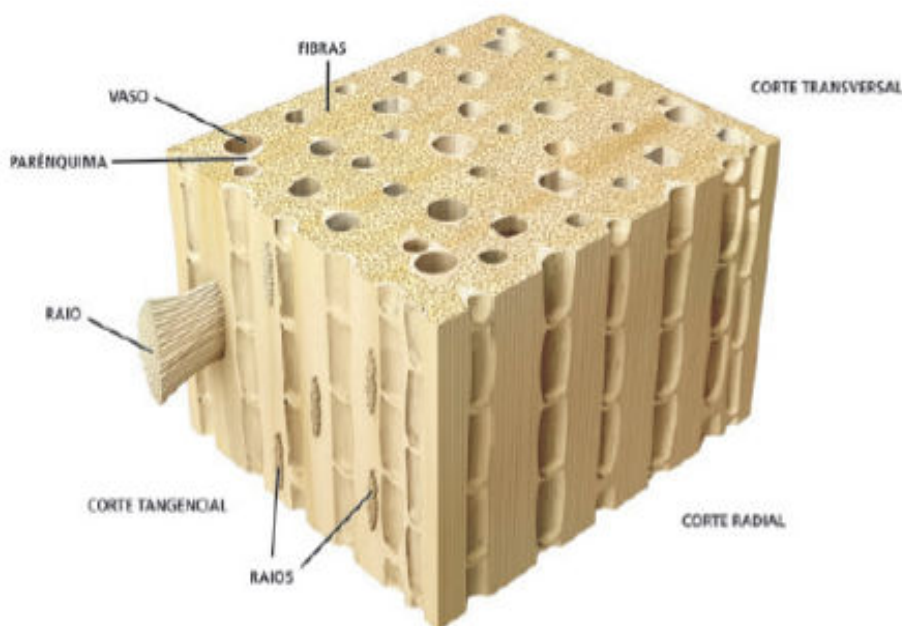


FIGURA 2 – CORTE TRANSVERSAL DE UM TRONCO (GONZAGA, 2006)



A Figura 2 apresenta desenho esquemático da anatomia de uma espécie de folhosa como é o eucalipto e exemplifica suas características de xilema, evidenciando medula, cerne e alburno. Na Figura 3 pode ser observado o corte anatômico de uma folhosa, mostrando os diferentes planos anatômicos e seus principais componentes celulares e a sua complexidade na formação dos diferentes tecidos.

FIGURA 3 ESQUEMA ANATÔMICO DAS FOLHOSAS (GONZAGA, 2006)



### 3.4 Propriedades Físicas da Madeira

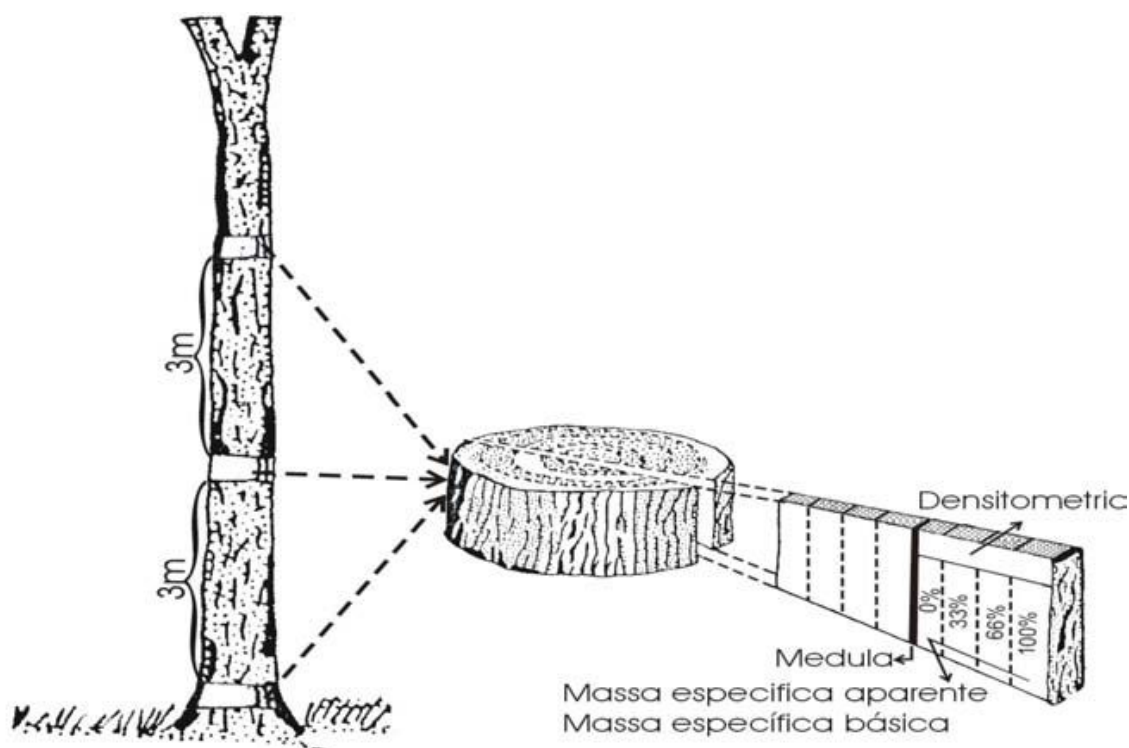
Segundo PANSIN E DE ZEEUW (1980), a massa específica pode variar entre gêneros, espécies do mesmo gênero, árvores da mesma espécie e, até mesmo, entre diferentes partes da mesma árvore. Esta variação na massa específica torna o processo de coloração difícil e de alto consumo de energia (material ou combustível que se está queimando na caldeira). Em determinadas partes das árvores, onde exista massa específica baixa, é exigido menor tempo para atingir 90°C e partes da árvore com massa específica alta é exigido maior tempo. A anisotropia para a espécie *Eucalyptus grandis* ocorre quando o material estiver abaixo do PSF (Ponto de Saturação das Fibras) em torno de 30% de teor de umidade, situação esta que não se observará no processo de homogeneização, somente na secagem



convencional é possível avaliar as perdas dimensionais.

Para LELLIS E SILVA (1997) o processo de secagem da madeira de eucaliptos é considerado um dos pontos cruciais na sua utilização industrial. Os maiores problemas ocorridos nesta fase dizem respeito à *anisotropia dimensional*, cujas consequências mais importantes são a ocorrência de defeitos como torções, rachaduras, empenos, abaulamentos e colapso. De acordo com a Figura 4 podemos verificar quais as posições da tora.

FIGURA 4 – RETIRADA DAS AMOSTRAS (SILVA, 2002)



Segundo BRITO (2006) a ação do calor na madeira pode provocar diferentes níveis de transformações em sua estrutura, as quais estão associadas ao fenômeno da pirólise. Guedira (1998) e Vovelle e Mellottee (1982) classificaram em cinco diferentes fases:

- a) A primeira fase situa-se entre a temperatura ambiente até 100°C e corresponde à saída da “água livre” e “água higroscópica”, localizadas no lúmen e nas paredes celulares.
- b) A segunda fase ocorre entre 100 °C a 250 °C e também está ligada a eliminação de água, parte desta etapa ainda retira a

chamada “água higroscópica” que está absorvida junto às hidroxilas das cadeias de polissacarídeos e da lignina;

- c) A terceira fase situa-se entre 250 °C a 330 °C momento em que geralmente ocorre a destruição da hemicelulose;
- d) A quarta fase estará entre as temperaturas 330 °C até a 370 °C onde se supõe a destruição da celulose;
- e) A quinta fase trata de temperaturas superiores a 370° C momento em que o ocorre o carvão vegetal, acima desta temperatura terá a degradação da lignina;

É importante ressaltar que partindo da temperatura ambiente, o clima do interior da câmara deverá ser mantido ao máximo com umidade relativa em 100% para que o material em processo não sofra qualquer possibilidade de defeitos, muito menos alterações de densidade ou dimensões (anisotropia).

Os ensaios realizados por SILVA (2002) apresentam uma divisão em quatro partes, onde estabeleceu 0% da tora como sendo a medula e 100% da tora como sendo a casca, e divisões intermediárias de lenhos juvenis e adultos. Os testes realizados tiveram o resultado médio conforme mostra a Tabela 1.

TABELA 1 - VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA BÁSICA E APARENTE A 12% DE UMIDADE DE *Eucalyptus grandis* (SILVA 2002).

TRATAMENTOS	MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (g/cm³)	MASSA ESPECÍFICA APARENTE (g/cm³) 12% MC
Idades 10 anos	0,34	0,46
Idades 14 anos	0,41	0,55
Idades 25 anos	0,42	0,55
Idades 20 anos	0,47	0,60

Nesta análise é possível notar que ocorreu diferença entre a massa específica nas árvores de 20 anos maiores do que árvores de 25 anos. Esta diferença caracteriza uma variável no processo de coloração e secagem. É importante considerar que a determinação da massa específica antes de cada processo de coloração e secagem é essencial para se ter a melhor condução dos processos. (SILVA 2002).

Este teste estabeleceu uma relação entre a idade de cada árvore

com a posição em que a amostra se encontrava no sentido radial da tora, sendo assim tem-se a tabela 2.

TABELA 2 - RELAÇÃO ENTRE A MASSA ESPECÍFICA, IDADE E A POSIÇÃO (SILVA,2002).

INTERAÇÃO IDADE X POSIÇÃO	MASSA ESPECÍFICA	
	BÁSICA (g/cm <sup>3</sup> )	APARENTE (g/cm <sup>3</sup> ) 12%
10 anos x posição 0%	0,32	0,42
10 anos x posição 33%	0,32	0,43
10 anos x posição 66%	0,38	0,51
10 anos x posição 100%	0,40	0,52
14 anos x posição 0%	0,35	0,46
14 anos x posição 33%	0,37	0,48
14 anos x posição 66%	0,43	0,60
14 anos x posição 100%	0,44	0,61
20 anos x posição 0%	0,39	0,51
20 anos x posição 33%	0,42	0,55
20 anos x posição 66%	0,49	0,62
20 anos x posição 100%	0,58	0,73
25 anos x posição 0%	0,36	0,47
25 anos x posição 33%	0,38	0,50
25 anos x posição 66%	0,43	0,58
25 anos x posição 100%	0,52	0,65

É possível notar na Tabela 2 que existem variações na Massa Específica da madeira de eucaliptos no sentido base topo das toras (posições 0% e 100% respectivamente) em todas as idades das árvores.

Esta constatação é intrínseca em praticamente todas as espécies devido à formação dos lenhos adultos, normalmente ligados ao diâmetro, ou seja, quanto mais velha for a árvore maior será sua densidade próximo a casca e maior será seu diâmetro.

Estas características tornam os processos de coloração e secagem bastante dinâmicos. De acordo com o produto pretendido o processo pode exigir que as câmaras tenham maior ou menor volume de madeira que foram retiradas das posições 0%, 33%, 66% e 100% o que faz com que o condutor do processo tome a ação adequada.

Quando se tem o controle desta variável é possível tomar decisões assertivas quanto ao tempo de processo. Para a coloração, quanto menor for à

massa específica (Densidade) menor será o tempo.

### 3.5 Química da Madeira

A maior parte da composição da parede celular da madeira de eucalipto é composta basicamente por hemiceluloses, celulose e lignina. Estes materiais representam 95% do peso seco da madeira e definem a forma, resistência e estrutura do material (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999).

A celulose é o componente mais abundante, representando 45% do peso seco da madeira de *Eucalyptus grandis*. A lignina, por sua vez, difere significativamente da estrutura da celulose e das hemiceluloses. Pois, é um polímero amorfo, tridimensional e hidrofóbico, de natureza aromática e fenilpropanóica. É encontrada por volta de 20% em folhosas (HILL, 2006). As hemiceluloses são elementos amorfos que representam em torno de 25 a 30% do peso da madeira. O conjunto dos polímeros de hemiceluloses e celulose compõe o teor total de polissacarídeos na madeira, o qual é encontrado no teor de 75% nas folhosas (HILL, 2006).

Já os componentes de menores proporções são subdivididos em partes orgânicas e inorgânicas e podem apresentar grande influência nas diversas propriedades da madeira (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999).

A parte orgânica é composta pelos extrativos, que apresentam baixo e médio peso molecular e são extraíveis em água ou em solventes orgânicos neutros. Estes influenciam na coloração. Incluem-se neste grupo as resinas, óleos essenciais, ceras, taninos e outros polifenóis. Podem constituir de 3% até 30% da substância madeira, dependendo da espécie, idade e condições de crescimento (BRITO, 1985; HILLS, 1962).

Os constituintes minerais ou cinzas, parte inorgânica dos componentes acidentais, estão presentes na madeira em torno de 0,2% a 1% do seu peso seco, variando conforme a espécie. O cálcio, potássio e magnésio são os componentes mais abundantes (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999).

### 3.6 Processo de Homogeneização da Coloração em Câmara

Segundo KLITZKE (2002) A secagem convencional ou artificial é o processo de secagem mais utilizado no mundo inteiro se desenvolve a temperaturas de 50 até 100°C sendo conduzida em câmaras ou estufas, nos quais se pode controlar a temperatura, a umidade relativamente e a velocidade do ar. A velocidade do ar fica em torno de 1,5 a 2,5m/s constantes, a capacidade das câmaras variam de 10 a 150m<sup>3</sup> e o tempo de secagem é de dias, variando com a espécie, espessura, teor de umidade inicial e final, entre outras variáveis. Para aquecer as câmaras se utilizam diversas fontes térmicas, sendo as mais comuns vapor d'água, água quente e óleo térmico, sendo o vapor d'água o sistema de aquecimento mais utilizado pelas indústrias. A madeira serrada é empilhada em forma de pilhas e colocada adequadamente no interior das câmaras de secagem.

A secagem da madeira se realiza seguindo um programa previamente estabelecido, com etapas climáticas progressivamente mais secas e quentes. O controle das condições climáticas se efetua mediante termômetros de bulbo úmido e seco (psicrômetro) os termômetros e os sensores do equilíbrio do conteúdo de umidade que permitem, por uma parte, conhecer a temperatura e a umidade relativa do ar dentro da câmara, e por outra, manter o sistema mediante controles manuais, semi-automáticos ou automáticos das condições ambientais desejadas. É apresentado na Figura 5 um tipo de secador convencional.

FIGURA 5 – CAMARA DE HOMOGENEIZAÇÃO DE MADEIRA E DE SECAGEM



A umidade relativa do ar é medida no psicrômetro, verificando a diferença das leituras entre os dois termômetros (TBS e TBU) e com a temperatura do TBS. Quando o controle da umidade relativa se faz com o psicrômetro a leitura do termômetro úmido (TBU) deve ser o mais preciso possível. Isto significa que o recipiente de água e a malha de algodão que o mantém úmido deve estar livre de incrustações que alterem sua leitura. Os dois termômetros devem ser colocados próximos (Figura 6).

FIGURA 6 – PSICRÔMETRO UTILIZADO PARA MEDIÇÃO DO CLIMA



A vaporização ou umidificação do meio ambiente da câmara se faz automaticamente e é governada pelo TBU ou pelas aberturas e saída de ar, no processo de coloração é fundamental uma forte injeção de vapor saturado por praticamente todo tempo, para garantir alta umidade relativa do ar.

Já na secagem da madeira a injeção de umidade (vapor saturado) no interior da câmara é necessária no aquecimento e em poucas etapas da secagem, para impedir ou evitar danos ocasionados por tensões de secagem. Ao final da secagem se aplica o tratamento de homogeneização da umidade e equilíbrio das tensões, quase sempre durante o processo de secagem é indispensável injetar vapor ou aspergir água para incrementar a umidade relativa do ar.

Segundo CALONEGO (2005), o termo homogeneização da madeira refere-se à coloração através de aquecimento da madeira antes da secagem, que para o *Eucalyptus grandis* ocorre através de uma técnica de aquecimento

da madeira com injeção de vapor saturado. Este processo apresenta alterações nas propriedades da madeira por exemplo; a lixiviação dos extrativos, causando o aumento da estabilidade dimensional e da permeabilidade, ocorrendo movimentação dos extrativos pelo interior da madeira atingindo o ponto vítreo da lignina (amolecimento da madeira).

O aumento da permeabilidade em madeira homogeneizada preliminarmente à secagem é consequência da hidrolização parcial e desaspiração das membranas de pontuação, além de modificações na estrutura e organização de componentes, como no caso de extrativos hidrossolúveis presentes principalmente no cerne da madeira. O resultado é a melhora na aplicação de tratamentos preservativos, maior difusão da umidade e diminuição de defeitos e do tempo de secagem (ALEXIOU, 1990).

O processo de coloração se dá pela aplicação de vapor dentro de trocadores de calor imersos em uma tina com água. A ação da temperatura nos mesmos realizará a radiação, fervendo a água, em processo de evaporação a água transformará o ambiente, saturando toda a câmara. A saturação deverá ser estabilizada em torno de 80% a 100%, (ALEXIOU, 1990).

A falta ou a perda de controle durante o processo de coloração, mesmo que por um espaço de tempo curto, pode gerar defeitos irreversíveis. Mesmo que a câmara de coloração seja projetada para manter a umidade relativa ao nível de saturação máxima, podem ocorrer vazamentos desta umidade, tornando o ambiente inadequado para o processo. Consequentemente a falta da ação da velocidade do ar não causará a secagem propriamente dita, porém o material que estiver exposto a altas temperaturas e oscilações do ambiente sofrerá danos, (ALEXIOU, 1990).

Segundo SIMULA & TISSARI (1998), o *E. grandis* é considerado entre os melhores eucaliptos para diversos usos e movelaria. de modo geral não é difícil de usinar, porém apresenta certa rigidez. Apresenta também processo de secagem com maior velocidade, não menos difícil, pelas suas características de baixa permeabilidade e tensões de crescimento que tornam o processo de secagem exigível de cuidados e controle rigoroso de ambiente nas câmaras de coloração e secagem.

Para o setor moveleiro, o uso do eucalipto vem como uma solução ao problema de distância entre o pólo madeireiro e o consumidor da matéria

prima (fabricas de móveis), com redução dos custos de transporte e aliado à demanda por madeiras de qualidade a menor custo (COSTA, s.d. *apud* SILVA & WENZEL, 1995).

Segundo BUCHANAN, (2000) É importante conhecermos as características celulares de uma espécie folhosa como é o eucalipto para que o processo de homogeneização da coloração apresente alto desempenho, como também no processo de secagem a espécie apresente resultado satisfatório para sua utilização, notado que a homogeneização não elimina o processo de secagem convencional. a transformação ocorrida desde a medula até o alburno é complexa e não se encontra ainda totalmente esclarecida.



## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Material

A espécie utilizada foi *Eucalyptus grandis*, fornecido pela empresa Klabin, O processo de coloração foi realizado com as pilhas embaladas sem separadores entre as camadas.

O processo de coloração foi realizado na empresa Lajufer Ltda localizada na cidade de Telêmaco Borba - PR, contando com os seguintes equipamentos utilizados no teste:

- 1 Caldeira de 3500 Kg vapor/hora;
- 1 Câmara de homogeneização com capacidade de 190 m<sup>3</sup> a cada ciclo;
- 6 câmaras de secagem, com capacidade de 95m<sup>3</sup> em média cada;
- 7 controladores Marrari Automação, equipamentos que permitem controle rígido e sistemático do processo, gerando relatórios e gráficos para análises futuras.

A madeira embalada demanda de maior tempo para que haja uma completa homogeneização na coloração de toda carga. Após o processo a madeira passa para colocação de separadores para realizar o processo de secagem normalmente em uma segunda câmara para a secagem tradicional.

### 4.2 Equipamentos Utilizados

A Figura 7 apresenta a caldeira com capacidade de 3500 Kg Vapor/hora responsável por fornecer para as 6 câmaras de secagem com capacidade de aproximadamente 95 m<sup>3</sup> cada unidade e uma câmara de coloração com capacidade de 190 m<sup>3</sup>.

Em função da grande demanda de vapor saturado na homogeneização da coloração a capacidade da caldeira é ponto importante para que o processo tenha total controle e o produto atenda as necessidades do mercado, a falta de dimensionamento adequado da caldeira, tornará o processo de coloração inviável por exigir maior tempo de processo.

FIGURA 7 – CALDEIRA BENECKE CAPACIDADE DE 3500KG VAPOR/H



A câmara utilizada para homogeneização da coloração pode ser observada na Figura 8 em conformidade com a máxima otimização e que torne o processo seguinte logisticamente viável.

FIGURA 8 – PARTE INTERNA DA CÂMARA DE HOMOGENEIZAÇÃO DA COLORAÇÃO



O sistema de umidificação da câmara de homogeneização é uma tina, construída em concreto no piso da câmara. A largura da tina e sua profundidade devem ser dimensionadas de acordo com o volume, no exemplo

temos uma tina de 60x60 com 2 lances de trocadores de calor com 2 polegadas de tubulação.

A Figura 9 apresenta uma visão geral da tina e detalhes dos “dumpers” (entradas e saídas de ar) no teto. Essas câmaras usadas no teste já foram utilizadas para secagem convencional, e esses dispositivos proporcionam controle afinado da umidade relativa do ar.

FIGURA 9 TINA DE ÁGUA E OS DUMPER’S (ABERTURAS SUPERIORES)



Os controles de temperaturas são baseados em sinais de termorresistência coletados pelos termômetros e emitidos a um CLP (controlador lógico programável) que torna o processo automatizado. Quanto maior for a depressão (diferença) entre as temperaturas seca e úmida menor será a umidade relativa (UR) esta diferença para o processo de coloração deve ser a menor possível, ou seja, quanto menor a UR maior é o cuidado que o processo exige, além de aumentar a probabilidade de defeitos, que não se pode ocorrer nesta etapa, visto que o objetivo é apenas tornar as cores dos lenhos o mais próximo da cor característica vermelha do lenho adulto do eucalipto grandis.

#### 4.3 Processo de Homogeneização

Foi utilizada de alta temperatura (aproximadamente 90°C) e alta umidade relativa (próximo de 100%), sendo mantidas constantes ambas as variáveis. Foram variadas as rampas de aquecimento para as curvas testadas e o tempo de permanência em cada fase da curva. Buscou-se alcançar o melhor resultado na homogeneização da coloração no menor tempo com a

manutenção da qualidade.

A empresa adquiriu madeira da espécie *Eucalyptus grandis*, com pequeno percentual de ocorrência de outras espécies, situação que pode gerar diferenças na coloração final.

Para o desenvolvimento das curvas de temperatura foram consideradas as seguintes variáveis:

- Capacidade de produção de vapor da caldeira;
- Garantia de abastecimento de vapor nas câmaras de secagem;
- Nível de coloração desejada pelos clientes (produção de painéis FJGB (*Finger Joint Glue Board*) – para produção de móveis e esquadrias);
- Qualidade da madeira, quanto aos índices de empenamentos, rachaduras, entre outros defeitos.

Na Figura 10 podem ser observadas as curvas utilizadas para os testes de homogeneização da coloração testados.

FIGURA 10 – CURVAS UTILIZADAS NOS TESTES DE HOMOGENEIZAÇÃO

#### Curva 1

Fases	AQC											S E C A G E M											UNF	CND	RSF
	1.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.10	2.11	3.0	4.0	5.0										
TBS (°C)	50	55	60	65	70	75	80	85	90	80	70	0	60	50	40										
TBU (°C)	50	55	60	65	70	75	80	85	90	80	70		60	50	40										
UR (%)												0													
DF1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
Banho																									
Tempo (h)	4	6	6	6	6	6	6	6	12	3	3	0	2	2	5										
E / OU																									
Umid. Mín. (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
DF2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0										

#### Curva 2

Fases	AQC											S E C A G E M											UNF	CND	RSF
	1.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.10	2.11	3.0	4.0	5.0										
TBS (°C)	50	55	60	65	70	75	80	85	90	80	70	0	60	50	40										
TBU (°C)	50	55	60	65	70	75	80	85	90	80	70		60	50	40										
UR (%)												0													
DF1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
Banho																									
Tempo (h)	4	3	3	3	3	3	3	3	12	3	3	0	2	2	5										
E / OU																									
Umid. Mín. (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
DF2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0										

Foram testadas duas curvas (curva 1 e curva 2). As temperaturas

utilizadas foram às mesmas, somente foi alterado o tempo de permanência durante as rampas de ascendência da temperatura na curva 2. Na curva 2 os tempos em cada fase foram reduzidos pela metade. Desta maneira se buscou a redução no consumo de energia térmica, reduzindo o tempo do tratamento de homogeneização.

#### **4.4 Avaliação da Coloração e da Qualidade da Madeira**

A madeira após a aplicação da curva de homogeneização foi descarregada e avaliada de maneira aleatória e visualmente o efeito do tratamento na homogeneização da coloração e na qualidade da madeira quanto aos índices de empenamentos e rachaduras de topo e superfície.

Foi considerada a melhor curva testada, a curva que apresentou os menores índices de defeitos e o maior índice de homogeneização na coloração.

A eficiência do tratamento (grau de cobertura na homogeneização da cor e da tonalidade da coloração) foi considerada o índice de maior peso a ser considerado na avaliação, sendo o primeiro a ser avaliado. A seguir a madeira seguiu para o processo de secagem convencional e câmara convencional.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Equipamento de Homogeneização de Coloração

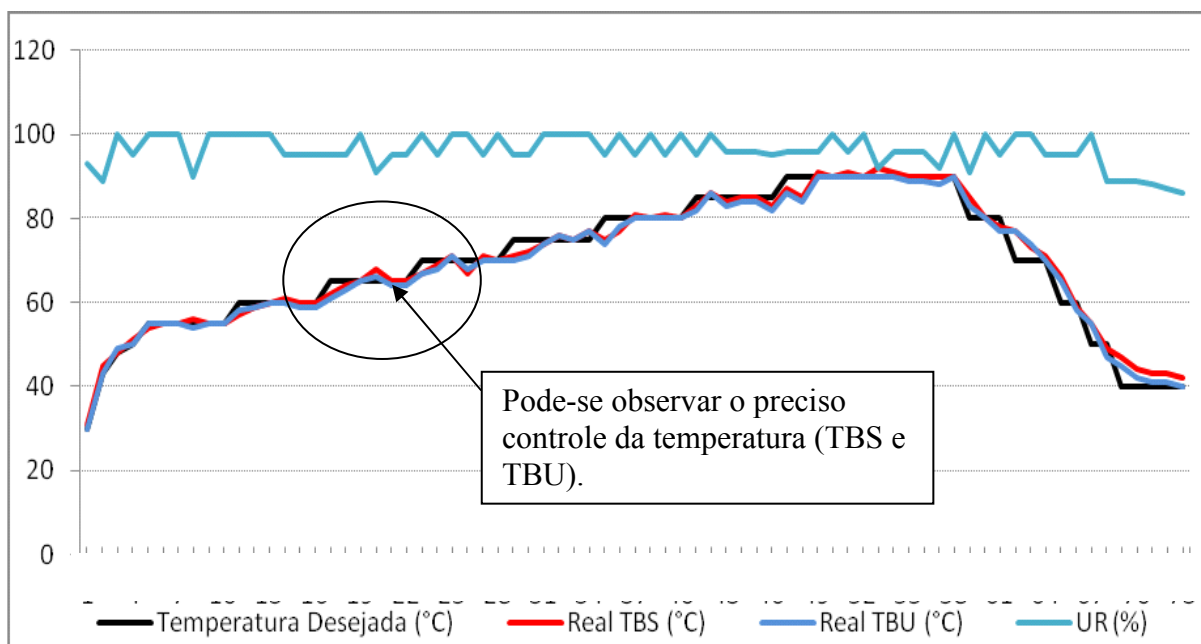
Foi utilizada uma câmara de secagem convencional de madeira com capacidade de 190m<sup>3</sup> para realização da homogeneização da coloração. A câmara foi adaptada, sendo incluída maior capacidade de injeção de vapor saturado por meio de uma tina construída para atingir as condições estabelecidas pelos programas sugeridos. Na Figura 11 pode ser observada a câmara de homogeneização carregada de madeira de *Eucalyptus grandis* para o teste.

FIGURA 11 – MADEIRA COLOCADA NA CÂMARA DE HOMOGENEIZAÇÃO DE COLORAÇÃO.



É fundamental para o sucesso da operação que as rampas de temperaturas (TBS e TBU) sejam mantidas o mais próximo possível do desejado. Pode ser observado na Figura 12 que as condições desejadas de TBS e TBU foram satisfatoriamente atendidas ao longo de todo teste.

FIGURA 12 – VARIÁVEIS AMBIENTAIS SUGERIDAS PELO TESTE



Os resultados encontrados vão de encontro com os obtidos por ALEXIOU (1990) e CALONEGO (2005) os quais recomendam a homogeneização da coloração através de termo-homogeneização da madeira por meio de aquecimento com injeção de vapor saturado, mantendo constante a umidade relativa próxima de 100%. Com isso, a madeira de *Eucalyptus grandis*, a qual apresenta extrativos concentrados em bolsões do tipo goma-resina no seu interior sofrem lixiviação, resultando na homogeneização da coloração com aumento da estabilidade dimensional da madeira e da sua permeabilidade.

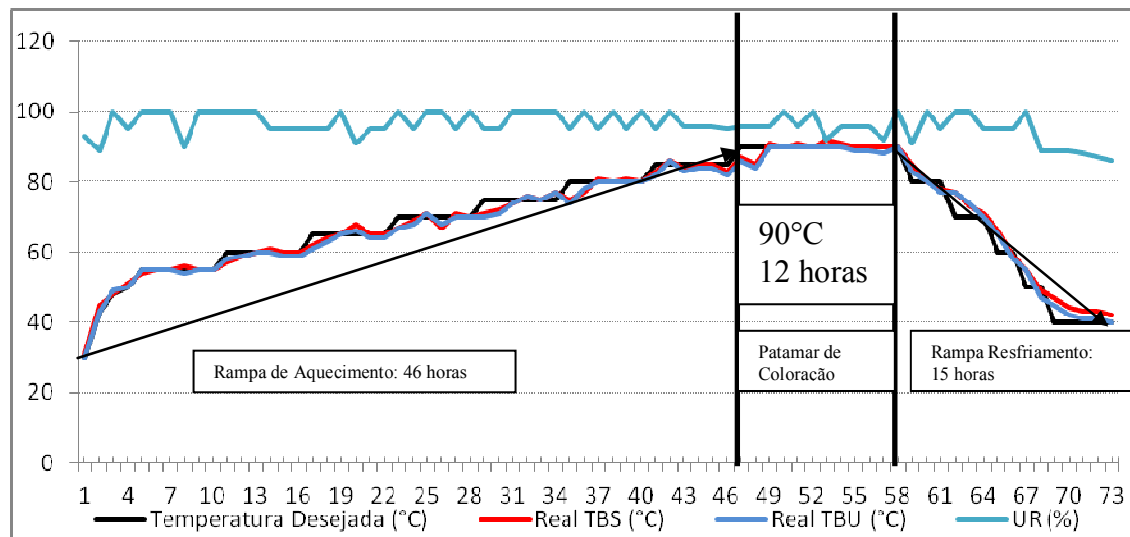
Durante o processo de homogeneização ocorre uma demanda elevada de vapor saturado, bem acima do necessário para o processo de secagem da madeira. Para ser realizado este teste é fundamental que a empresa tenha esta oferta de vapor saturado. A demanda deverá ser calculada pelo técnico responsável para que não haja problemas de falta de energia térmica. A caldeira utilizada no estudo com capacidade de gerar 3,5 toneladas de vapor por hora atendeu as necessidades exigidas pelos testes. A linha de transmissão do vapor saturado e as “tinas” (Figura 8) utilizadas atenderam as condições estabelecidas.



## 5.2 Teste de Homogeneização

A Figura 13 apresenta o comportamento das condições climáticas obtidas durante o teste da curva 1.

FIGURA 13 - DADOS DO PROCESSO COLORAÇÃO DA CURVA 1.



O tempo total do teste foi de 73 horas, dividido em uma rampa até atingir a temperatura de 90°C com duração de 46 horas, permanecendo por 12 horas na temperatura de 90°C e com uma rampa de resfriamento de 15 horas. Estes resultados atenderam o que foi estabelecido pela curva 1 sugerida na metodologia. Pode-se observar que a umidade relativa foi mantida próxima de 100% em todas as fases do processo. Estes resultados vão de encontro com o que foi estabelecido por ALEXIOU (1990) e CALONEGO (2005), os quais sugerem a manutenção elevada da umidade relativa ao longo de todo teste.

Na Figura 14 pode-se observar a madeira antes e após o teste de homogeneização.

FIGURA 14 – MADEIRA UTILIZADA NO TESTE DE HOMOGENEIZAÇÃO, CURVA 1.





A madeira que sofreu avaliação de qualidade e eficácia do tratamento de homogeneização foi colocada em uma pilha e identificada dentro da câmara (Figura 15). Após a realização do tratamento a madeira foi avaliada quanto a defeitos (rachaduras e empenamentos) e quanto a eficiência do tratamento (grau de homogeneização da cor e da tonalidade da coloração). Na Figura 15 pode se observar que as amostras foram identificadas antes e após o tratamento.

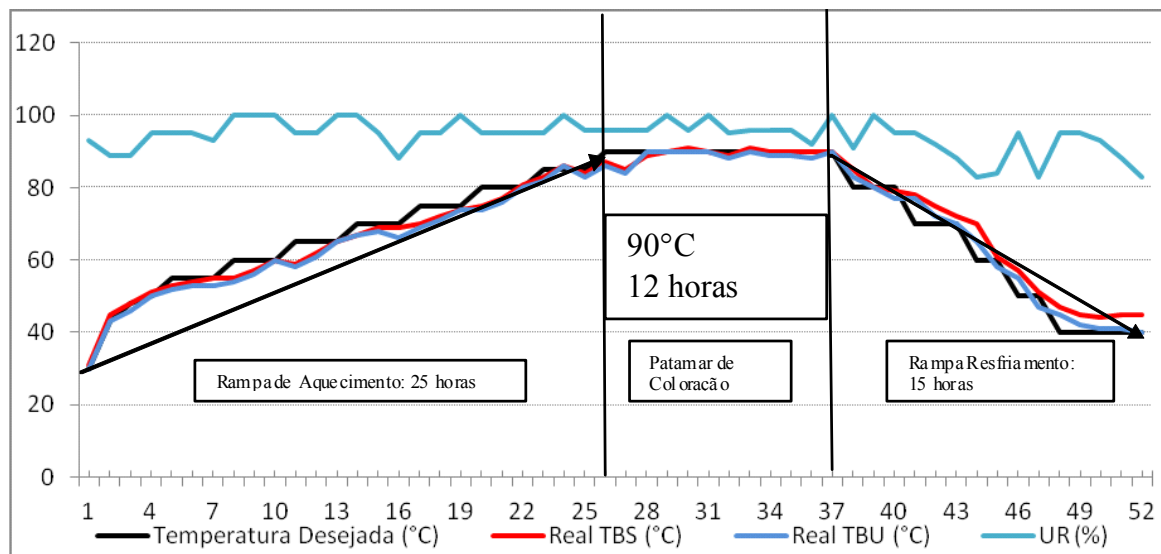
FIGURA 15 -AMOSTRAS ANTES E APÓS O TESTE DE COLORAÇÃO.



Em termos de homogeneidade da coloração foi obtido um resultado excelente quanto à difusibilidade da umidade o que favoreceu a homogeneização da coloração no interior da madeira, estando os resultados em sintonia com os obtidos por ALEXIOU (1990). Quanto à tonalidade pode se observar que ocorreu uma tonalidade rosácea de todas as peças, demonstrando que a técnica poderá ser recomendada desde que não ocorram maiores perdas na resistência mecânica da madeira e de outras propriedades.

A Figura 16 apresenta o comportamento das condições climáticas obtidas durante o teste da curva 2.

FIGURA 16 - DADOS DO PROCESSO COLORAÇÃO DA CURVA 2.



O tempo total do teste foi de 52 horas, dividido em uma rampa até atingir a temperatura de 90°C com duração de 25 horas, permanecendo por 12 horas na temperatura de 90°C e com uma rampa de resfriamento de 15 horas. Estes resultados atenderam o que foi estabelecido pela curva 2 sugerida na metodologia. Pode-se observar que a umidade relativa não foi mantida próxima de 100% em todas as fases do processo, principalmente na primeira fase, durante as 26 até atingir a temperatura do tratamento (90°C). Apesar desta pequena variação os resultados atendem o que foi estabelecido pela literatura (ALEXIOU, 1990 e CALONEGO, 2005). Na Figura 17 pode-se observar a madeira antes e após o teste de homogeneização.

FIGURA 17 – MADEIRA UTILIZADA NO TESTE DE HOMOGENEIZAÇÃO, CURVA 2.



A madeira que sofreu avaliação de qualidade (defeitos e coloração) foi colocado em uma pequena pilha dentro da camara (Figura 18) para realização do teste da curva 2. Nas Figuras 18 e 19 pode se observar que as amostras foram identificadas antes e após o tratamento.

FIGURA 18 - AMOSTRAS ANTES E APÓS O TESTE DE COLORAÇÃO, CURVA 2.



FIGURA 19 - AMOSTRAS ANTES E APÓS O TESTE DE COLORAÇÃO, CURVA 2.



A homogeneidade da coloração obtida apresentou uma ótima distribuição quanto à sua difusibilidade tornando homogênea a coloração no perfil transversal de toda madeira, estando os resultados de acordo com os encontrados por ALEXIOU (1990). A tonalidade apresentou

semelhantermente uma tonalidade rosácea de todas as peças, demonstrando que a técnica é apropriada e poderá ser utilizada desde que não cause perdas na resistência e de outras propriedades.

É importante resaltar que o tempo de permanência na câmara foi de 52 horas, ou seja, 21 horas a menos que no tratamento da cura 1 (73 horas). Esta redução foi de aproximadamente 29% no tempo do tratamento, resultando em uma forte redução no consumo da energia térmica e um forte aumento na produtividade melhorando a eficiência do processo.

### 5.3 Avaliação dos Defeitos (rachaduras e empenamentos)

Os testes de homogeneização realizados pelas curvas 1 e 2, não apresentaram aumento nos defeitos da madeira em termos de rachaduras e empenamentos. Os dois lotes de madeira que foram colocados na câmara em cada um dos testes não demonstraram diferença de qualidade entre as peças.

Estes resultados foram obtidos em função das condições climáticas terem sido mantidas dentro das condições estabelecidas, com umidade relativa em torno de 100% ao longo de todo o teste, tanto para a curva 1 como para a curva 2. Na Figura 20 pode ser observada a alta qualidade da madeira após o seu beneficiamento, com aplainamento nas quatro faces.

FIGURA 20 – MADEIRA ANTES DA COLORAÇÃO E APÓS A COLORAÇÃO E APLAINADA



## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Em função dos resultados obtidos se concluiu que:

- A adaptação do equipamento de secagem convencional para realização da homogeneização de coloração atendeu adequadamente o que foi estabelecido nos testes.
- A homogeneidade da coloração da madeira de *Eucalyptus grandis* foi obtida de maneira eficiente tanto na curva 1 como na curva 2, obtendo-se uma coloração rosácea forte em toda a seção transversal e ao longo de todo o comprimento das tábuas.
- A curva 2 apresentou uma redução em torno de 29% no tempo do tratamento, causando um aumento na produtividade e redução no consumo de energia térmica sendo o tratamento recomendado.
- O tratamento de homogeneização não causou alteração na qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* entre as curvas testadas.
- Recomenda-se avaliar as propriedades mecânicas da madeira após o tratamento de homogeneização da coloração e de outras propriedades.



## 7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

ACOSTA, M. S. Experiencia Argentina en el Uso de la Madera de Eucalipto. In: Seminário Internacional de Utilização da Madeira de Eucalipto. São Paulo, 1995. 74-91p.

ACOSTA, M. S. Experiencia Argentina en la Producción y Utilización de la Madeira de Eucalipto, Panorama a 1999. In: WORKSHOP: Técnicas de Abate, Processamento e Utilização da Madeira de Eucalipto. Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Florestal, Sociedade de Investigações Florestais, Instituto Estadual de Florestas. Viçosa-MG, 22 a 24 de junho de 1999.p. 1-27.

ALEXIOU, P. N.; WILKINS, A. P.; HARTLEY, J. Effect of pre-steaming on drying rate, wood anatomy and shrinkage of regrowth *Eucalyptus pilularis* Sm. Wood Science Technology, Berlin, v. 24, p. 103, 1990.

ASSIS, T. F. de. Aspectos do Melhoramento de *Eucalyptus* para a Obtenção de Produtos Sólidos da Madeira. WORKSHOP: Técnicas de Abate, Processamento e Utilização da Madeira de Eucalipto. Viçosa-MG, 22 a 24 de junho de 1999. p. 61-72.

BRITO, J. O. Estudo das influências da temperatura, taxa de aquecimento e densidade da madeira de *Eucalyptus maculata* e *Eucalyptus citriodora* sobre os resíduos sólidos da pirólise. 2002. 81 f. Tese (Livre Docência) Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, p. 73, 2002.

BUCHANAN, M. A. Extraneous components of wood. New York: J. Wiley, p.313, 2000

CALONEGO, F. W. Efeito da vaporização no poder calorífico de *Eucalyptus grandis*. Floresta e Ambiente, Seropédica, v. 12, n. 1, p. 30-35, 2005.

COSTA, E. M. Móveis de eucalipto. Por que não? *I M Móveis & Tecnologia*. s.d. p. 40-41, 1995.

FERREIRA, M. Escolha de espécies de Eucalipto. Circular Técnica IPEF, v. 47, Florestais, Instituto Estadual de Florestas. Viçosa-MG, 22 a 24 de junho de 1999. p. 1-27.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. Wood handbook: wood as an engineering material. Washington: US Department of Agriculture, 1999. Pag 463

GALVÃO, A. P. M. Aspectos da utilização da madeira de eucalipto no Brasil: seu aproveitamento em serraria. IPEF – Boletim Informativo, v.4(12), p. 1-23, jul. 1976a.

GONZAGA, A. L. Madeira: Uso e Conservação, Brasília, DF editora IPHAN ano 2006, pag 247.

GUEDIRA, F. Pyrolise lente de la biomasse: comportement compare des tourteux d olives, de la bagasse de canne a sucre et la sciure de bois (Pin maritime). 1998. 122 f. Thèse (Docteur) - Université Mohamed, Maroc, 1998.

HILL, C. A. S. Wood modification chemical, thermal and other processes. West Sussex: John Wiley, 2006. 239 p.

KIKUTI, P. Manejo de eucalipto para uso múltiplo na Klabin. In: Seminário Internacional de Utilização da Madeira de Eucalipto para Serraria. São Paulo, 1995. p. 41.

KLITZKE R. J. Curso de secagem de madeira, Módulo 1 . Curitiba, pag 21. 2005

LELLIS, J. G. de; SILVA, J. C. Problemas e soluções sobre rachaduras de topo de madeiras de Eucalyptus spp. Nas fases de desdobro e secagem. Informe agropecuário, Belo Horizonte, v. 18, n. 186, p.62-69, 1997.

LUENGO MENDOZA, I. E. Experiencia Chilena en la Utilizacion del Eucalipto. In: Seminário Internacional de Utilização da Madeira de Eucalipto. São Paulo, 1995. 92-108p.

LUZ, H. F.; MELZER, J. F.; COUTINHO, C. J.; FERREIRA, M. C. Manejo de florestas de eucalipto para usos múltiplos. Eucatex Florestal, 1992. 30p. Madeira de Eucalipto. Viçosa-MG, 22 a 24 de junho de 1999. p. 39-52.

LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F. & MENDES, L. M. Tendências no uso de madeira serrada de eucalipto. Revista da Madeira, ano 8 n. 49, 2000, p. 44-48.

OLIVEIRA, J. T. S. Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. v. 1. 429p. 1997.

OLIVEIRA, J. T. S. Problemas e Oportunidades com a Utilização da Madeira de Eucalipto. WORKSHOP: Técnicas de Abate, Processamento e Utilização da Madeira de Eucalipto. Viçosa-MG, 22 a 24 de junho de 1999. p. 39-52.

PANSHIN, A . J.; DE ZEEUW, C. Textbook of wood technology. 4a ed. New York, McGraw Hill, 1980, 722p.

PONCE, R. H. Madeira serrada de eucalipto: desafios e perspectivas. In: Seminário Internacional de Utilização da Madeira de eucalipto para Serraria. São Paulo, 1995. 50-58p. Products in the European Commun Market. In: 1o Seminário Internacional sobre Produtos Sólidos da Madeira. WORKSHOP: Técnicas de Abate, Processamento e Utilização da Madeira de Eucalipto. Viçosa-MG, 22 a 24 de junho de 1999. p. 61-72.

ROZAS MELLADO, E. C. E. Contribuição ao desenvolvimento tecnológico para a utilização de madeira serrada de *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) na geração de produtos com maior valor agregado. Dissertação-Mestrado. Curso de Pós graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1993. 133p.

SILVA, J. C. Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando sua utilização na indústria moveleira. 2002. Tese (Doutorado) – Programa de pós-graduação em engenharia florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SIMULA, M. T. & TISSARI, J. T. Market Prospects for Eucalyptus Solid Wood Products in the European Commun Market. In: 1º Seminário Internacional sobre produtos Sólidos de Madeira de Alta Tecnologia e 1º encontro sobre TecnologiasApropriadas de Desdobro, Secagem e utilização da Madeira de Eucalipto. Belo Horizonte, 7 a 11 de dezembro de 1998. p. 29-48.

VOVELLE, C.; MELLOOTTEE, H. Modelisation de la pyrolyse oxydante ou noxydante de bois ou de déchets végétaux à partir de leurs composants. In: PALZ, W.; CHARTIER, P. (Eds.). Energy from biomass. 2. ed. London: Applied Sciences, 1982. p. 925.

WAUGH, G. Sawing of Young, Fast-Grow Eucalypts. 1º Seminário Internacional sobre produtos Sólidos de Madeira de Alta Tecnologia e 1º Encontro sobre Tecnologias Apropriadas de Desdobro, Secagem e utilização da Madeira de Eucalipto. Belo Horizonte, 7 a 11 de dezembro de 1998. p. 69-81.